

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengembangan Produk Awal

Formula Garuda 17 adalah mobil generasi ketiga dari Garuda UNY Racing Team yang mengikuti perlombaan *Student Formula Japan 2017*. Mobil ini adalah hasil pengembangan dari mobil generasi sebelumnya yaitu Formula Garuda 16 dimana setelah kompetisi *Student Formula Japan 2016*, terdapat beberapa masalah yang menjadikan dasar pengembangan mobil generasi selanjutnya. Pada tahap awal perancangan mobil Formula Garuda 17 diawali dengan pemahaman mengenai regulasi yang berlaku dalam *Student Formula Japan 2017* dan juga analisa terhadap masalah-masalah yang terjadi pada kompetisi sebelumnya. Dari beberapa masalah yang dialami pada kompetisi sebelumnya, salah satu masalah yang dianggap *miss major* adalah pada bagian *primary structure* rangka kendaraan yang tidak melindungi *filler neck fuel tank*. Berawal dari sini, pengembangan mengenai perancangan rangka mobil Formula Garuda 17 ini dilakukan. Dalam penelitian ini akan dibahas bagaimana proses rancangan rangka Formula Garuda 17 agar dapat memenuhi beberapa target diantaranya rancangan rangka mobil Formula Garuda 17 dapat lolos dalam dokumen *Structure Equivalency Spreadsheet* yang dibuktikan dengan hasil penilaian dari juri, kemudian hasil analisis *torsional rigidity* menggunakan *Finite Element Analysis* pada *software Solidworks* dapat memenuhi target yang telah ditentukan, dan juga kendaraan yang telah selesai di *manufacture* dapat

lolos dalam serangkaian *Technical Inspection* saat perlombaan yang dibuktikan dengan diperolehnya *pass sticker* dari juri.

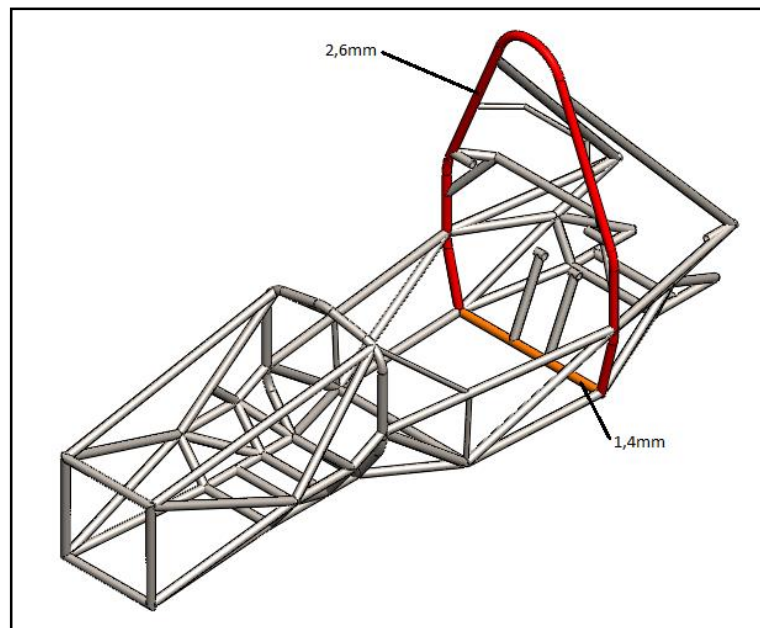
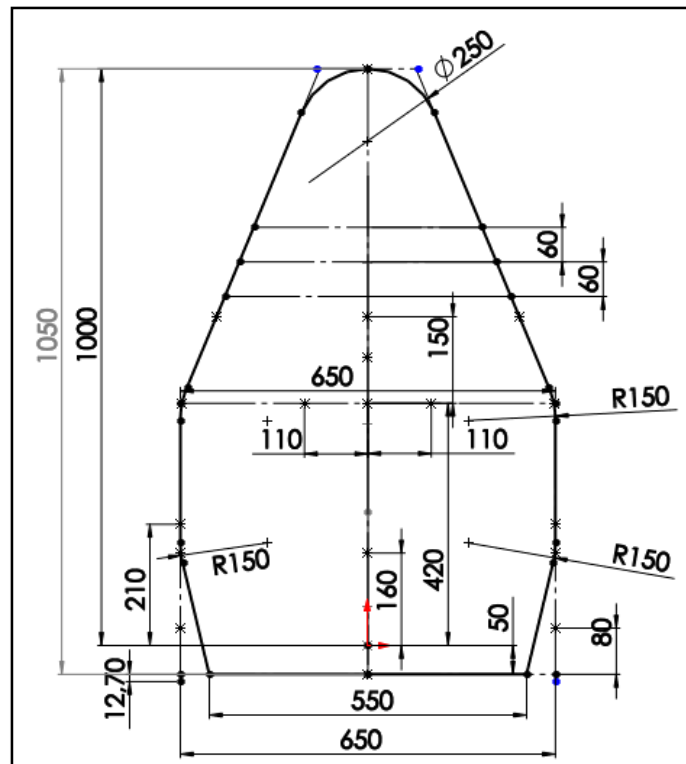
B. Hasil Uji Coba Produk

1. Rancangan Rangka Formula Garuda 17

Pada kompetisi *Student Formula Japan* 2017, tiap bagian *primary structure* mempunyai regulasi yang ditetapkan oleh panitia, oleh sebab itu perancangan yang dilakukan harus berdasarkan regulasi yang berlaku. Berikut ini adalah detail rancangan dari rangka mobil Formula Garuda 17:

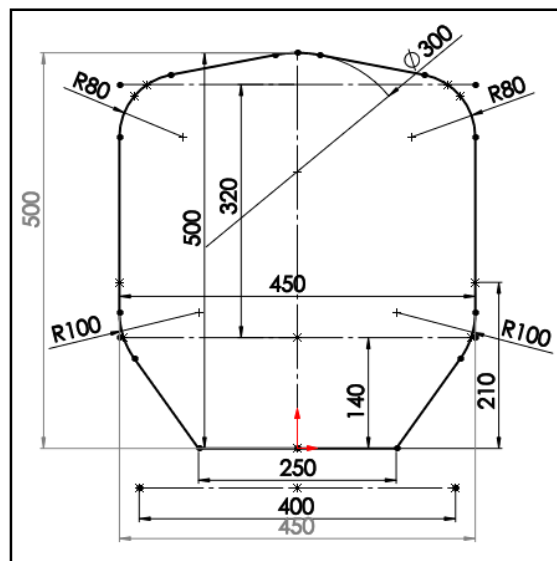
a) *Main Hoop*

Bagian *main hoop* dirancang dengan total ketinggian 1050mm untuk memastikan *helmet clearance* lebih dari 50mm, sedangkan lebar *main hoop* 650mm untuk mengakomodir tubuh driver dan juga memastikan *template cockpit opening* dapat masuk ke ruang *driver*. Kemudian terdapat *roll pipe* dengan radius 125mm pada bagian atas dan ukuran pipa yang digunakan yaitu diameter 25,4mm dengan ketebalan 2,6mm. Sedangkan pada bagian bawah pipa yang di sambung dengan proses *welding* menggunakan pipa berdiameter 25,4mm dengan ketebalan 1,4mm untuk mereduksi beban tanpa melanggar regulasi yang berlaku.

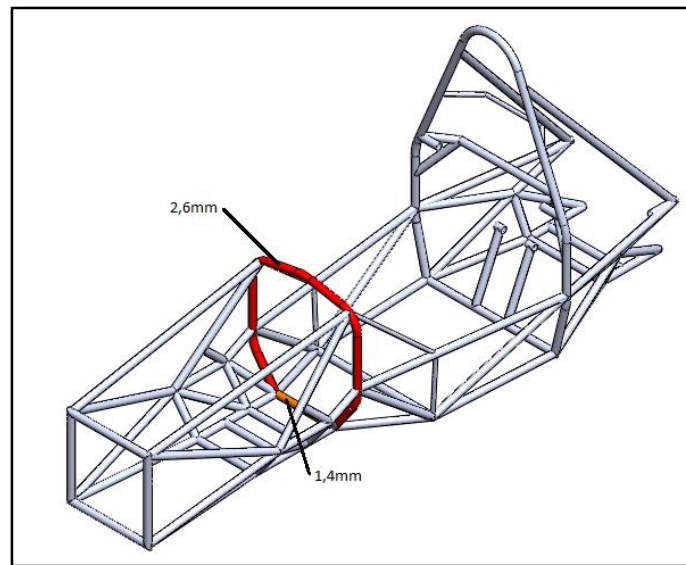


b) *Front Hoop*

Bagian *front hoop* dirancang dengan ketinggian 500mm untuk memastikan *helmet clearance* antara *main hoop* dan *front hoop* lebih dari 50mm, kemudian lebar dari *front hoop* dibuat 450mm dengan tujuan agar *cockpit internal cross section* dapat melewati *front hoop* dengan aman. Terdapat 5 titik *roll pipe* pada *front hoop* dengan rincian 2 titik memiliki radius 100mm, 2 titik memiliki radius 80mm, dan 1 titik memiliki radius 150mm. Jarak *front hoop* ini 800mm didepan *main hoop*. Pipa yang digunakan pada *front hoop* memiliki diameter 25,4mm dengan ketebalan 2,6mm, sedangkan pada bagian *front hoop* terdapat pipa yang disatukan dengan proses welding dengan ukuran diameter 25,4mm dengan ketebalan 1,4mm dengan tujuan untuk mereduksi beban.



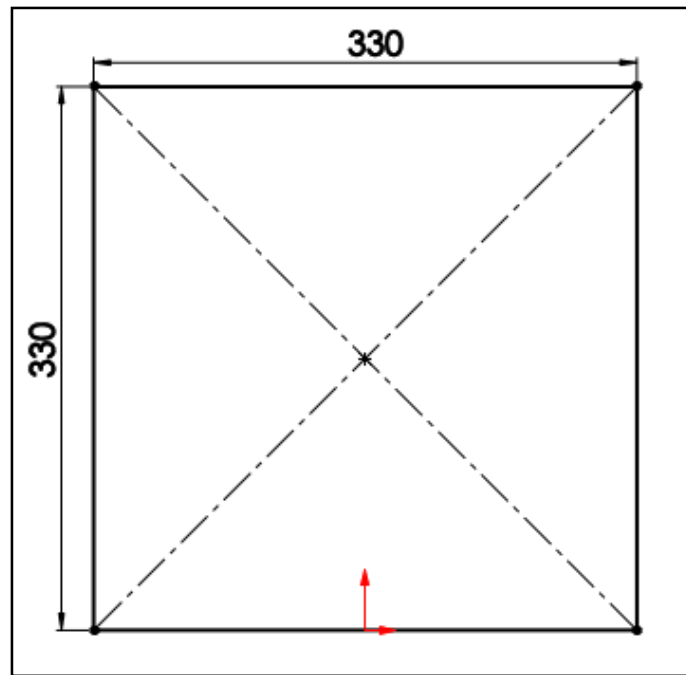
Gambar 27. Sketch dan dimensi *front hoop*



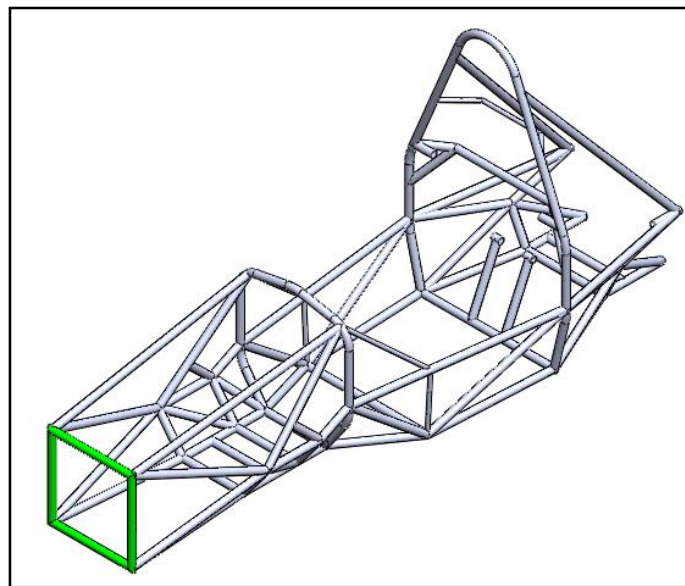
Gambar 28. Ketebalan pipa *front hoop*

c) *Front Bulkhead*

Front bulkhead merupakan bagian paling depan dari rangka kendaraan, bagian ini di desain dengan bentuk persegi dengan ukuran 330mm x 330mm menggunakan pipa berdiameter 25,4mm dengan tebal 1,8mm. Jarak dari *front bulkhead* ialah 840mm didepan *front hoop*. Pada *front bulkhead* terpasang sebuah *Impact Attenuator* yang merupakan perangkat *safety* yang berfungsi untuk meredam kejutan saat terjadi tumbukan dari bagian depan kendaraan.



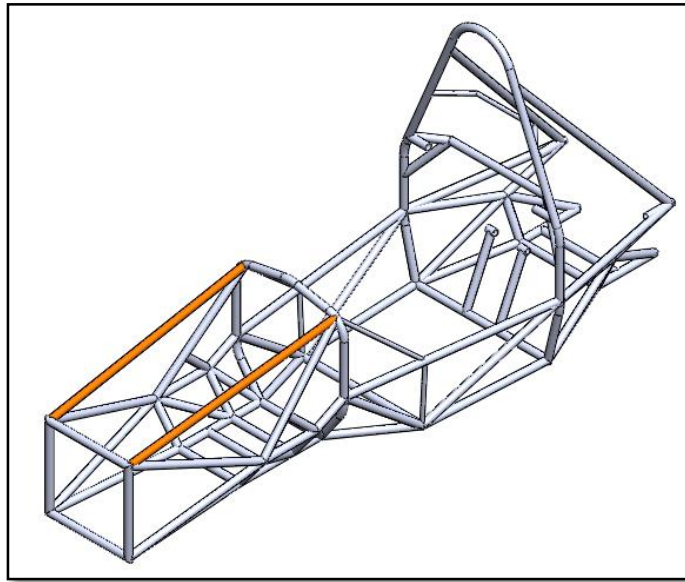
Gambar 29. Sketch dan dimensi *front bulkhead*



Gambar 30. Rancangan *front bulkhead*

d) *Front Hoop Bracing*

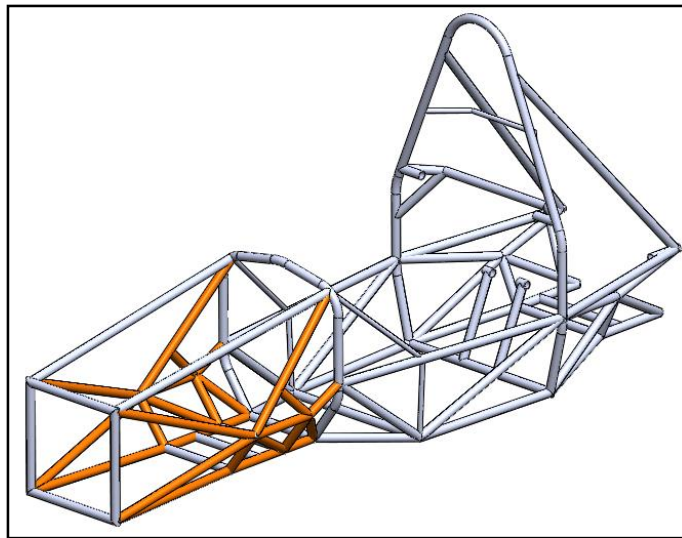
Bagian *front hoop bracing* dirancang mempertemukan antara *front bulkhead* dengan *front hoop* di sisi bagian atas dengan 2 buah pipa berdiameter 25,4mm dengan ketebalan 1,8mm.



Gambar 31. Rancangan *front hoop bracing*

e) *Front Bulkhead Support*

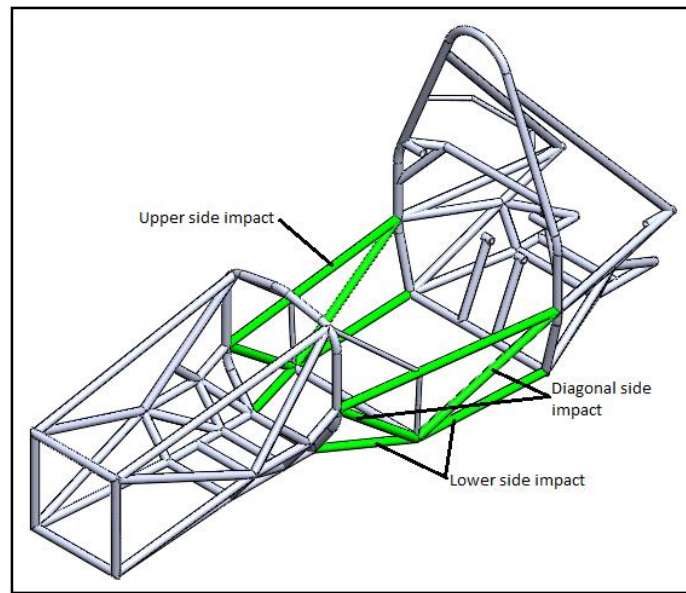
Front bulkhead support ini dirancang sekaligus dengan memperhitungkan titik-titik geometri suspensi, terdapat total 24 potongan pipa berdiameter 25,4mm dengan ketebalan 1,4mm yang disatukan dengan proses *welding*. Pada titik-titik perancangan *front bulkhead support* ini juga harus memperhatikan *node-to-node* antar ujung pipa yang disambung agar memenuhi regulasi yang berlaku.



Gambar 32. Rancangan *front bulkhead support*

f) *Side Impact Structure*

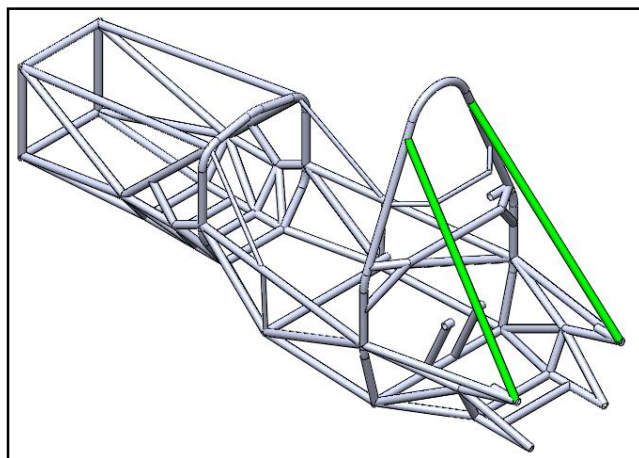
Terdapat 3 bagian *side impact structure*, yaitu *upper side impact* yang dirancang dengan tinggi 320mm diatas permukaan tanah, kemudian pada *lower side impact* dirancang dengan pipa yang disambung dan tidak *straightline* dan dikategorikan termasuk *bent tube* sehingga sudut yang dibentuk oleh *supportnya* tidak boleh lebih dari 30° , sudut yang dibentuk oleh pertemuan pipa pada *lower side impact* ialah $29,14^\circ$ dan $25,30^\circ$. Selanjutnya *diagonal side impact* dirancang mempertemukan bagian belakang *upper side impact* menuju titik sambungan pada *lower side impact* kemudian menuju bagian depan *upper side impact* seperti terlihat pada gambar 33. Pipa yang digunakan pada *side impact structure* berdiameter 25,4mm dengan ketebalan 1,8mm.



Gambar 33. Rancangan *side impact structure*

g) *Main Hoop Bracing*

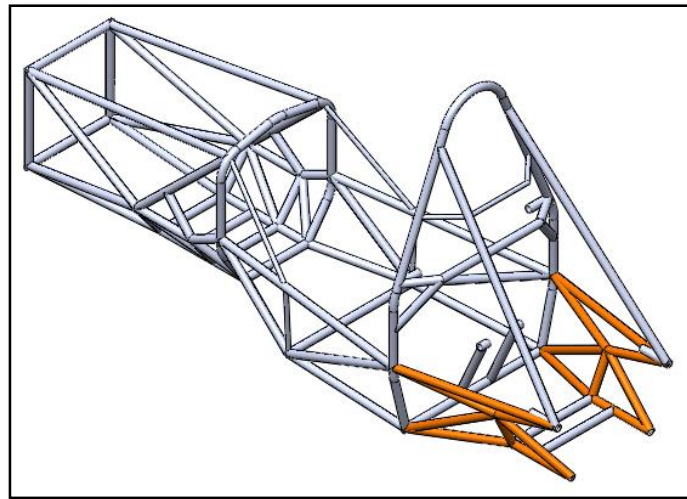
Bagian *main hoop bracing* ini dirancang mempertemukan antara *main hoop* dengan *main hoop bracing support* dengan total 2 buah pipa berdiameter 25,4mm dan ketebalan 1,8mm. Jarak titik atas *main hoop bracing* dengan *top main hoop* ialah 138,21mm.



Gambar 34. Rancangan *main hoop bracing*

h) *Main Hoop Bracing Support*

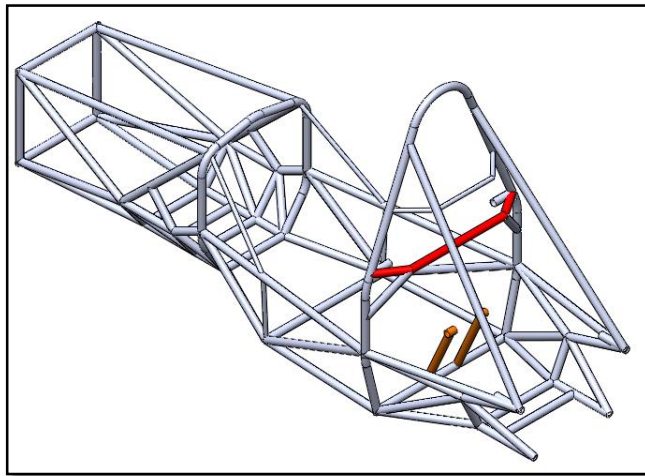
Main hoop bracing support ini dirancang sekaligus dengan memperhitungkan titik-titik geometri suspensi, terdapat total 16 potongan pipa berdiameter 25,4mm dengan ketebalan 1,4mm yang disatukan dengan proses *welding*. Pada titik-titik perancangan *front bulkhead support* ini juga harus memperhatikan *node-to-node* antar ujung pipa yang disambung agar memenuhi regulasi yang berlaku.



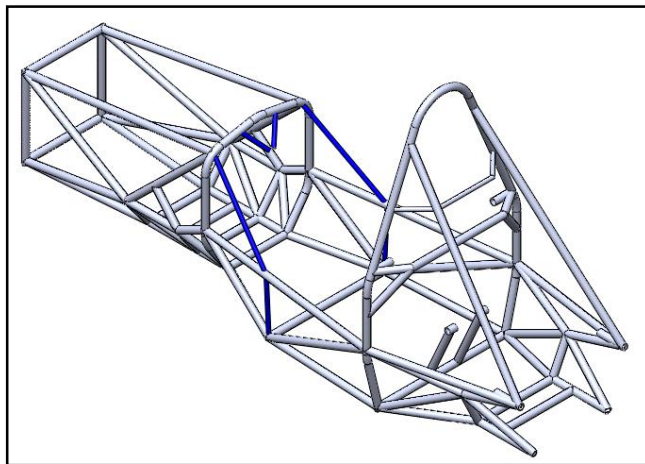
Gambar 35. Rancangan *main hoop bracing support*

Selain rancangan *primary structure* diatas, terdapat beberapa rancangan yang mengakomodir komponen-komponen lain pada kendaraan, seperti *mounting engine* yang dirancang menggunakan 2 buah pipa berdiameter 25,4mm dengan ketebalan 1,4mm. Kemudian terdapat *shoulder harness* yang dirancang dengan ketinggian 530mm dari rangka dan menggunakan pipa berdiameter 25,4mm dengan

ketebalan 2,6mm. Untuk bagian *steering holder* menggunakan 2 buah pipa berdiameter 13,8mm dengan ketebalan 1,6mm untuk mereduksi berat dari rangka. Kemudian pada bagian *side impact structure* dan *front hoop* terdapat pipa dengan ukuran 13,8mm dengan ketebalan 1,6mm yang menghubungkan keduanya dan bertujuan untuk menambah nilai *torsional rigidity* dari rangka tersebut.



Gambar 36. Rancangan *mounting engine* dan *shoulder harness*



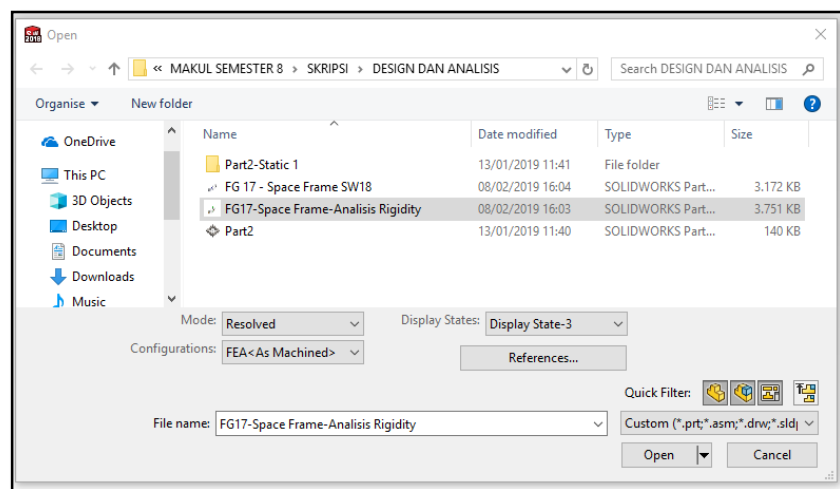
Gambar 37. Rancangan *steering holder* dan *support side impact*

2. Analisis Rangka Formula Garuda 17

Untuk memastikan bahwa rangka memenuhi target nilai *torsional rigidity* dan juga memastikan bahwa rangka dapat menahan beban *bending* dari komponen-komponen lain yang dirakit pada rangka, maka perlu dilakukan proses analisis melalui *software* sebelum rancangan rangka dikirim ke panitia dan juga dimanufaktur. Proses analisis dilakukan menggunakan *finite element analysis* pada *software Solidworks* dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a) Open 3D Design

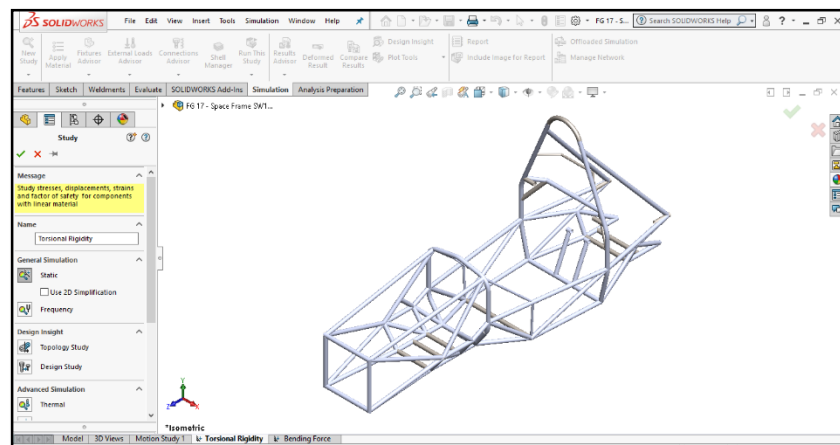
Langkah pertama dalam memulai analisis ini adalah membuka desain rangka pada *software solidworks* dengan cara buka aplikasi *Solidworks* → *Open* → *FG17-Space Frame-Analysis Rigidity (Design Rangka 3D)*.



Gambar 38. Dialog box open part

b) *New Study Case*

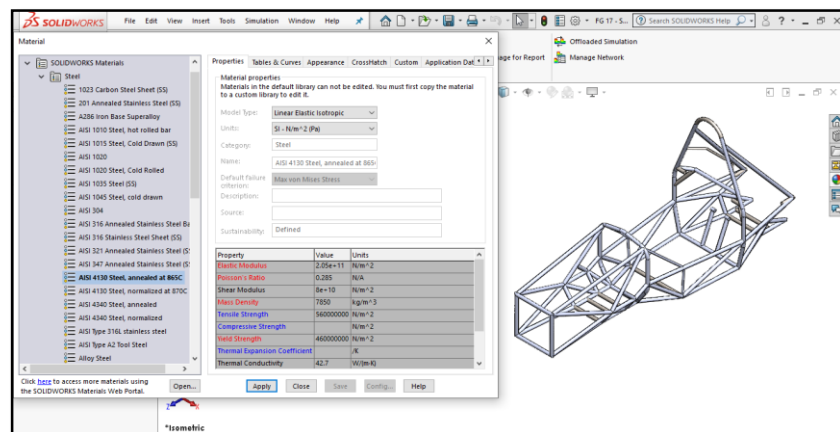
Langkah kedua yaitu memulai studi kasus, karena ada 2 jenis analisis pada pengujian ini, maka langkah ini diulang sebanyak 2 kali. Studi kasus yang pertama adalah untuk mengetahui deformasi pada *double a-arm* untuk menghitung nilai *torsional rigidity* dari rangka. Kemudian studi kasus yang kedua adalah untuk memastikan rangka dapat menahan gaya *bending* yang diterima baik oleh beban *driver, engine*, transmisi, maupun komponen yang lainnya. Langkah untuk memulai studi kasus ini dengan cara klik *Simulation* → *New Study* → Beri nama pada studi kasus 1 (*Torsional Rigidity*). Pilih *Static* pada pilihan *General Simulation* → Klik centang. Kemudian pada studi kasus yang kedua dilakukan dengan langkah yang sama, hanya saja untuk nama studi kasus kedua yaitu *Bending Force*.



Gambar 39. Dialog box studi kasus baru

c) *Choose Material*

Setelah membuat studi kasus, selanjutnya memilih jenis material untuk rangka. Jenis material yang akan digunakan pada rangka Formula Garuda 17 adalah pipa jenis STKM-11AC, akan tetapi pada *software solidworks* tidak terdapat pipa jenis ini, maka pada *software solidworks* menggunakan jenis pipa dengan material properties yang hampir sama yaitu *AISI 4130 Steel, Annealed at 865C*. Langkah untuk memilih materialnya yaitu klik nama part (*FG17-Space Frame-Analysis Rigidity*) → *Apply Material to All Bodies* → Klik tanda panah pada pilihan *Steel* → Pilih *AISI 4130 Steel, Annealed at 865C* → Klik *Apply*.

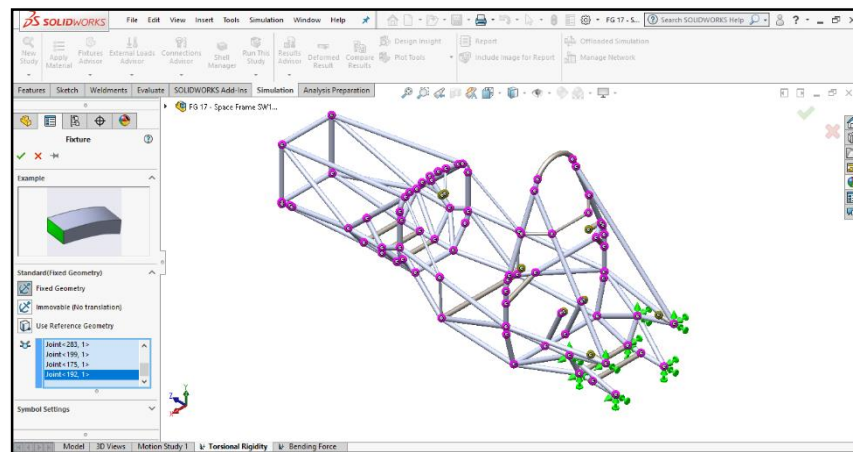


Gambar 40. Dialog box material untuk rangka

d) *Fixed Geometry*

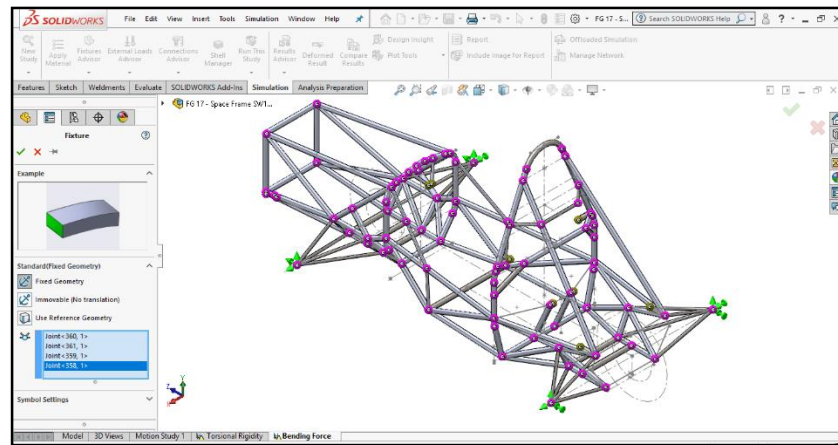
Setelah material dipilih, kemudian menentukan titik *fixed geometry* atau titik yang tidak akan bergerak saat ada gaya yang bekerja pada rangka

tersebut. Karena ada 2 jenis studi kasus pada pengujian ini, maka titik *fixed geometry* nya berbeda, untuk studi kasus pertama yaitu *torsional rigidity* yang dijadikan sebagai *fixed geometry* adalah titik-titik geometri pada *double a-arm* belakang kanan dan kiri. Caranya yaitu klik kanan pada *Fixtures* → Pilih *Fixed Geometry* → Kemudian klik pada semua titik yang akan dijadikan *fixed geometry*.



Gambar 41. *Fixed geometry* untuk studi kasus 1

Sedangkan untuk studi kasus kedua mengenai *bending force*, maka titik-titik yang dijadikan *fixed geometry* adalah titik pusat pada semua roda. Langkah yang dilakukan sama seperti sebelumnya, hanya saja titik *fixed geometrinya* berbeda.



Gambar 42. *Fixed geometry* untuk studi kasus 2

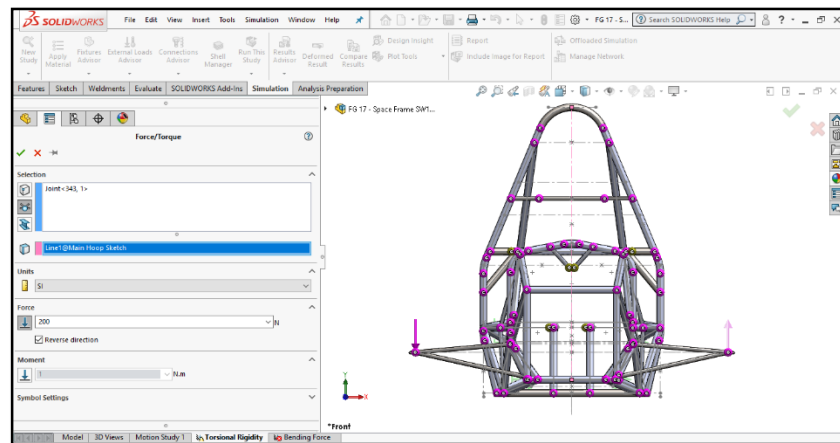
e) *Loads*

Kemudian setelah memilih titik *fixed geometry*, selanjutnya mengaplikasikan gaya / beban yang bekerja. Pada studi kasus yang pertama mengenai *torsional rigidity*, perhitungan besar beban dimulai dengan menghitung seberapa besar perpindahan gaya saat kendaraan *cornering*, untuk menghitung ini beberapa data perlu diketahui diantaranya estimasi bobot kendaraan sebesar 215kg, ketinggian *center of gravity* 310mm atau 0,31m , *track width* sebesar 1150mm atau 1,15m dan *lateral acceleration* sebesar 14,378 g's. Dengan rumus

$$\Delta W = \frac{W \times Ay \times h}{t}$$

Maka didapatkan hasil perpindahan gayanya sebesar 833,29 N atau dibulatkan menjadi 834 N. Setelah perpindahan gaya saat *cornering* diketahui maka target nilai *torsional rigidity* adalah lebih besar dari 834Nm/degree akan tetapi dengan bobot rangka yang lebih ringan 2kg

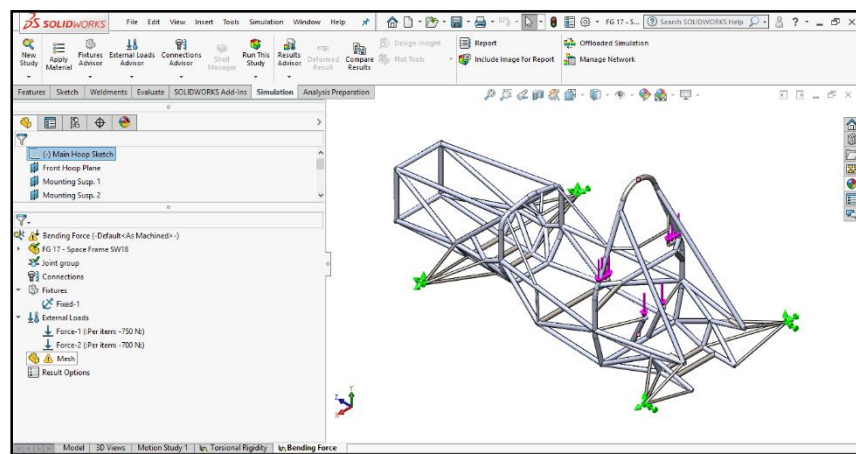
dari tahun sebelumnya 33,19kg menjadi 31,19kg. Setelah target nilai *torsional rigidity* ditentukan, maka bisa dilanjutkan dengan memberikan gaya dengan besaran 200N pada titik roda depan dengan arah gaya antara roda kanan dan roda kiri berlawanan arah (ke atas dan ke bawah). Langkahnya yaitu klik kanan pada *Externals Loads* → Pilih *Force* → Klik *Joint* pada pilihan *Selection* → Pilih *Joint* pada pusat roda depan kiri → Pilih arah gaya vertical → Masukkan nilai beban 200N pada *Force* → Kemudian klik centang. Selanjutnya untuk roda depan kanan langkahnya sama, akan tetapi pada pilihan nilai beban, centang tanda *reverse direction*.



Gambar 43. Gaya *twisting* pada rangka

Kemudian untuk studi kasus kedua mengenai *bending force*, dilakukan dengan menghitung berat komponen-komponen yang ditopang oleh rangka (*unsprung mass*) yang berpotensi menyebabkan *bending* pada rangka. Beban tersebut diantaranya adalah *engine and transmission*

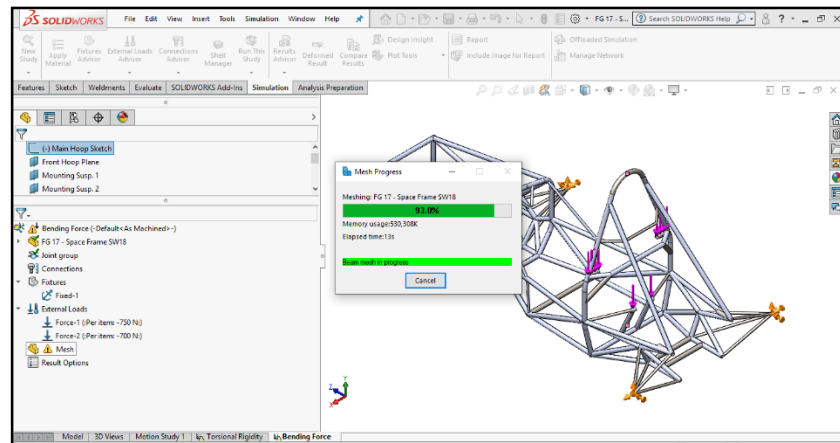
system kendaraan dengan estimasi bobot 750N dan juga beban *driver* dengan estimasi 700N. Setelah estimasi selesai dilakukan, maka pada studi kasus yang kedua juga memasukkan nilai beban kedalam pengujian, langkahnya yaitu klik kanan pada *Externals Loads* → Pilih *Force* → Klik *Joint* pada pilihan *Selection* → Pilih *Joint* pada dudukan *engine* → Pilih arah gaya kebawah → Masukan nilai beban 750N pada *Force* → Kemudian klik centang. Selanjutnya untuk beban *driver* langkahnya sama, akan tetapi pada titik beban diletakan pada dudukan *driver seat* dan besar bebannya diisi 700N dengan arah kebawah.



Gambar 44. Gaya *bending* pada rangka

f) *Mesh*

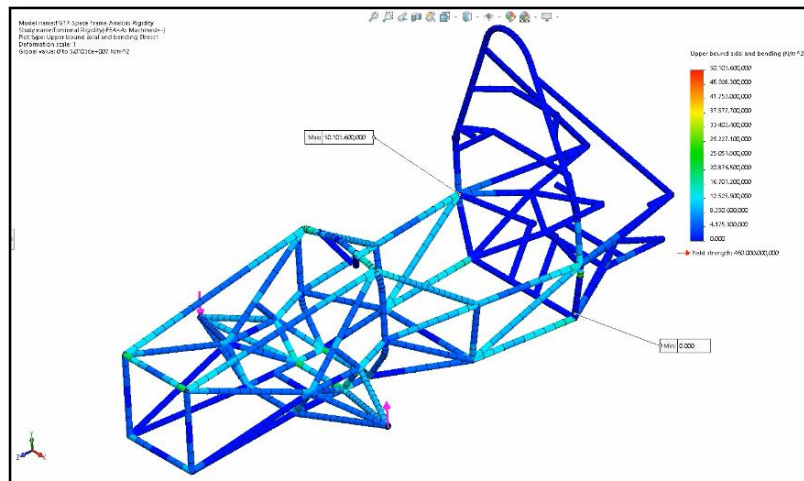
Setelah proses memasukkan beban selesai, maka proses selanjutnya adalah meshing dengan cara klik kanan pada *Mesh* → Pilih *Create Mesh* → Selesai.



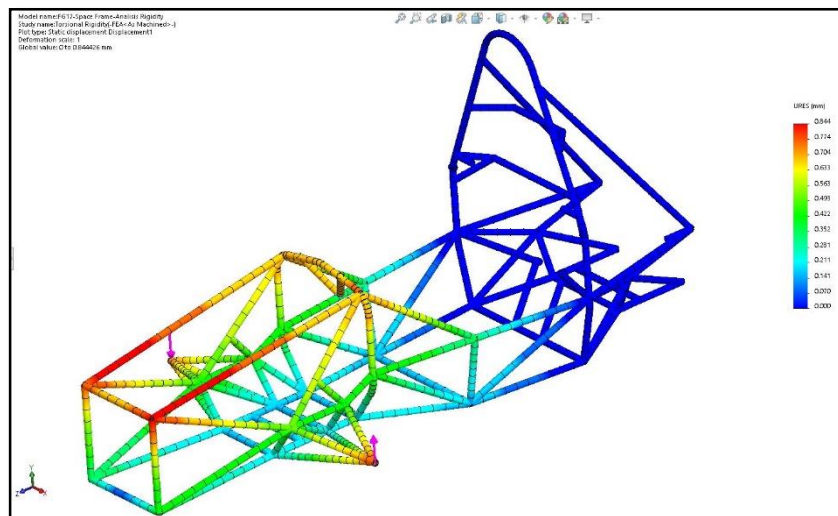
Gambar 45. Proses mesh desain rangka

g) *Run*

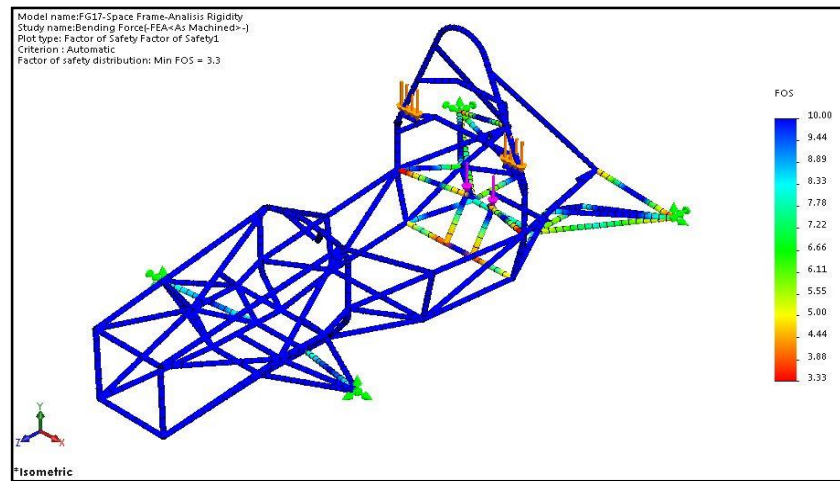
Proses selanjutnya adalah menjalankan simulasi, setelah semua proses sebelumnya sudah dipenuhi, langkah berikutnya adalah dengan cara klik *Run This Study* di *command manager*. Setelah proses running selesai maka akan tampil hasil analisis yang meliputi *stress*, *displacement*, serta *factor of safety* dari komponen tersebut.



Gambar 46. Hasil analisis *Stress* pada studi kasus pertama



Gambar 47. Hasil analisis *Displacement* pada studi kasus pertama



Gambar 48. Hasil analisis *FoS* pada studi kasus kedua

h) *Report*

Setelah semua hasil analisis telah keluar, maka selanjutnya membuat *report* / laporan analisis dengan cara klik *Report* pada *command manager* → Isi semua kolom mengenai data *user* → Klik *Publish*.

Gambar 49. *Dialog box* laporan analisis

3. Penyusunan Dokumen *Structural Equivalency Spreadsheet*

Strucutral Equivalency Spreadsheet atau *SES* adalah dokumen yang harus dikumpulkan dan disetujui oleh panitia sebelum rangka kendaraan di manufaktur. Dokumen *SES* berbentuk Excel dengan total 50 *sheets*, akan tetapi untuk desain rangka kendaraan tipe *Internal Combustion* dan rangka menggunakan pipa besi, hanya ada 12 *sheet* yang harus di isi, kolom yang harus diisi ditandai dengan warna kuning oleh panitia, diantaranya yaitu

a) *Cover Sheet*

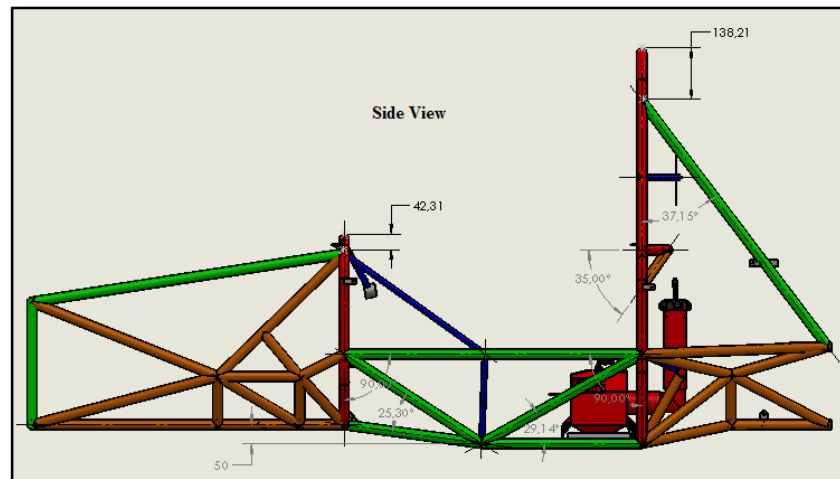
Berisi mengenai data team, kolom yang harus diisi yaitu *University Name* diisi Universitas Negeri Yogyakarta, *Team Contact* diisi nama *team captain*, *Faculty Advisor* diisi nama dosen pembimbing, *Powertrain Type* dipilih *Internal Combustion*, *Car no. & Events* diisi 27 & Student Formula Japan, kemudian mengisi alamat *e-mail team captain* dan *faculty advisor*. Kemudian pada bagian *Design Description and/or Material Used* diisi dengan jenis pipa dan ukuran diameter serta ketebalan yang digunakan pada tiap *primary structure*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
10																				
11	In the event that the FSAE Technical Committee requests additional information or calculations, teams have one																			
12	week from the date of request to submit the requested information.																			
13																				
14	University Name	Universitas Negeri Yogyakarta										Car No.(s) & Event(s)	27 & Student Formula Japan							
15	Team Contact	Teguh Arifin										Email Address	Teguharifin17@gmail.com							
16	Faculty Advisor	Dr. Zainal Arifin, M.T.										Email Address	turangga81@yahoo.com							
17	Powertrain Type	Internal Combustion																		
18	Is proof of equivalency for your design required for any of the rules?																			
19	No. Chassis does not deviate from baseline requirements																			
20																				
21	Baseline	Alternative																		
22	Material	Material	Rule No.																	
23	Used	Used																		
24	YES	NO	T3.11	Main Roll Hoop Tubing														JIS STKM 11AC D25 4-T2.6		
25	YES	NO	T3.12	Front Roll Hoop Tubing														JIS STKM 11AC D25 4-T2.6		
26	YES	NO	T3.13	Main Roll Hoop Bracing Tubing														JIS STKM 11AC D25 4-T1.8		
27	YES	NO	T3.13	Main Hoop Bracing Support - Tube Frames														JIS STKM 11AC D25 4-T1.4		
28	YES	NO	T3.14	Front Hoop Bracing - Tube Frames														JIS STKM 11AC D25 4-T1.8		
29	YES	NO	T3.18	Front Bulkhead - Tube Frames														JIS STKM 11AC D25 4-T1.8		
30	YES	NO	T3.19	Front Bulkhead Support - Tube Frames														JIS STKM 11AC D25 4-T1.4		
31	YES	NO	T3.24	Side Impact Structure - Tube Frames														JIS STKM 11AC D25 4-T1.8		
32	YES	NO	T5.4	Shoulder Harness Bar														JIS STKM 11AC D25 4-T2.6		
33	YES	NO	T3.20	Impact Attenuator Anti-Intrusion Plate														Aluminum1		

Gambar 50. Kolom cover sheet SES

b) Chassis Pics

Pada sheet ini berisi tentang gambar desain rangka kendaraan secara keseluruhan, beberapa detail mengenai dimensi juga harus ditunjukkan seperti sudut yang dibentuk antara *main hoop* dan *front hoop*, sudut yang dibentuk antara *main hoop bracing* dan *main hoop*, jarak dari titik puncak *main hoop* sampai *main hoop bracing*, jarak dari titik puncak *front hoop* sampai *front hoop bracing*, diameter luar dan ketebalan tiap pipa yang digunakan dibedakan melalui penggunaan warna pada desain, menunjukkan posisi *fuel tank* dengan warna merah,



Gambar 51. Side view chassis pics

c) T3.11 Main Hoop Tubing

Pada *sheet* ini, perlu dimasukkan data mengenai ukuran diameter luar pipa yang digunakan dan ketebalan pipa. Pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 2,6mm.

Main Hoop Structural Equivalency - note, only steel may be used		
Material Property	Baseline	Your Tube
Material type	Steel	Steel
Tube shape	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2,00E+11	2,00E+11
Yield strength, Pa	3,05E+08	3,05E+08
UTS, Pa	3,65E+08	3,65E+08
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,80E+08
UTS welded, Pa	3,00E+08	3,00E+08
Tube OD, mm	25,4	25,4
Wall, mm	2,4	2,6

Gambar 52. Sheet T3.11 Main Hoop Tubing

d) T3.12 *Front Hoop Tubing*

Pada *sheet* ini, perlu dimasukkan data mengenai jenis material dipilih *steel*, kemudian *Tube shape* dipilih *Round*, ukuran diameter luar pipa yang digunakan dan ketebalan pipa. Pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 2,6mm.

Front Hoop Structural Equivalency		
Material Property	Baseline	Your Tube
Material type	Steel	Steel
Tube shape	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2,00E+11	2,00E+11
Yield strength, Pa	3,05E+08	3,05E+08
UTS, Pa	3,65E+08	3,65E+08
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,80E+08
UTS welded, Pa	3,00E+08	3,00E+08
Tube OD, mm	25,4	25,4
Wall, mm	2,4	2,6

Gambar 53. *Sheet T3.12 Front Hoop Tubing*

e) T3.13 *Main Hoop Bracing*

Pada *sheet* ini, perlu dimasukkan data mengenai *Tube shape* dipilih *Round*, ukuran diameter luar pipa yang digunakan dan ketebalan pipa. Pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 1,8mm.

Main Hoop Bracing - Note: Only Steel may be used		
Material Property	Baseline	Your Tube
Material type	Steel	Steel
Tube shape	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2,00E+11	2,00E+11
Yield strength, Pa	3,05E+08	3,05E+08
UTS, Pa	3,65E+08	3,65E+08
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,80E+08
UTS welded, Pa	3,00E+08	3,00E+08
Tube OD, mm	25	25,4
Wall, mm	1,75	1,8

Gambar 54. Sheet T3.13 Main Hoop Bracing

f) T3.13 T3.36 MHoop Brace Spt

Pada *sheet* ini, perlu dimasukan data mengenai *Construction type* dipilih *Tubing only*, jenis material dipilih *steel*, kemudian *Tube shape* dipilih *Round*, kolom *Number of tubes* diisi 3, pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 1,4mm. Kemudian pada *sheet* ini juga dimasukan gambar desain rangka tampak isometri belakang dan tampak samping serta penunjukan jumlah pipa yang digunakan.

Main Hoop Bracing Supports				
		Enter construction type		
		Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	NA	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30_Laminate	
Youngs Modulus, E	2,00E+11	2,00E+11	0,00E+00	
Yield strength, Pa	3,05E+08	3,05E+08	0,00E+00	
UTS, Pa	3,65E+08	3,65E+08	0,00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3,00E+08	3,00E+08	N/A	
Number of tubes	2	3		
Tube OD, mm	25,4	25,4		
Wall, mm	1,20	1,4		

Gambar 55. Sheet T3.13 T3.36 MHoop Brace Spt

g) T3.14 T3.36 FHoop Bracing

Pada *sheet* ini, perlu dimasukkan data mengenai *Construction type* dipilih *Tubing only*, jenis material dipilih *steel*, kemudian *Tube shape* dipilih *Round*, kolom *Number of tubes* diisi 1, pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 1,8mm. Kemudian pada *sheet* ini juga dimasukkan gambar desain rangka tampak isometri depan dan tampak samping.

Front Hoop Bracing				
Enter construction type Tubing only				
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	NA	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30 Laminate	
Youngs Modulus, E	2,00E+11	2,00E+11	0,00E+00	
Yield strength, Pa	3,05E+08	3,05E+08	0,00E+00	
UTS, Pa	3,65E+08	3,65E+08	0,00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3,00E+08	3,00E+08	N/A	
Number of tubes	1	1		
Tube OD, mm	25,4	25,4		
Wall, mm	1,60	1,8		

Gambar 56. Sheet T3.14 T3.36 FHoop Bracing

h) T3.18 T3.31 Ft Bulkhead

Pada *sheet* ini, perlu dimasukkan data mengenai *Construction type* dipilih *Tubing only*, jenis material dipilih *steel*, kemudian *Tube shape* dipilih *Round*, kolom *Number of tubes* diisi 2, pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 1,8mm. Kemudian pada *sheet* ini juga dimasukkan gambar desain rangka tampak isometri depan dan tampak depan serta penunjukan jumlah pipa yang digunakan.

Front Bulkhead				
		Enter construction type Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	NA	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30_Laminate	
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	0.00E+00	
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	0.00E+00	
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	0.00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	N/A	
UTS shear, Pa	2.19E+08		0.00E+00	
Number of tubes	2	2		
Tube OD, mm	25.4	25.4		
Wall, mm	1.6	1.8		

Gambar 57. Sheet T3.18 T3.31 Ft Bulkhead

i) T3.19 T3.32 FBH S'pt Structure

Pada *sheet* ini, perlu dimasukan data mengenai *Construction type* dipilih *Tubing only*, jenis material dipilih *steel*, kemudian *Tube shape* dipilih *Round*, kolom *Number of tubes* diisi 3, pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 1,4mm. Kemudian pada *sheet* ini juga dimasukan gambar desain rangka tampak isometri depan dan tampak depan serta penunjukan jumlah pipa yang digunakan.

Front Bulkhead Support Structure				
		Enter construction type Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube type 1	Your Tube type 2	Your Tube type 3
Material type	Steel	Steel	Steel	Steel
Tubing Type	Round	Round	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	2.00E+11	2.00E+11
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	3.05E+08	3.05E+08
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	3.65E+08	3.65E+08
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	1.80E+08	1.80E+08
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	3.00E+08	3.00E+08
Number of tubes	3	3	0	0
Tube OD, mm	25.4	25.4	25.4	25.4
Wall, mm	1.2	1.4	1.2	1.2
		Baseline design? YES		

Gambar 58. Sheet T3.19 T3.32 FBH S'pt Structure

j) T3.24 T3.33 *Side Impact Struct.*

Pada *sheet* ini, perlu dimasukan data mengenai *Construction type* dipilih *Tubing only*, jenis material dipilih *steel*, kemudian *Tube shape* dipilih *Round*, kemudian pada kolom *Straight or Bent / Multipiece Upper Member* dipilih *Straight* kolom *Number of tubes* diisi 1, 2, 1, pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 1,8mm. Kemudian pada *sheet* ini juga dimasukan gambar desain rangka tampak isometri depan dan tampak samping disertai dimensi panjang dan sudut pada *side impact structure* yang menunjukkan bahwa sudut yang dibentuk *bent tube* tidak melebihi 30°.

Side Impact Structure		Enter construction type Tubing only		
Material Property	Baseline	Upper SIS Member	Your Tube type 2	Your Tube type 3
Material type	Steel	Steel	Steel	Steel
Tubing Type	Round	Round	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2,00E+11	2,00E+11	2,00E+11	2,00E+11
Yield strength, Pa	3,05E+08	3,05E+08	3,05E+08	3,05E+08
UTS, Pa	3,65E+08	3,65E+08	3,65E+08	3,65E+08
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,80E+08	1,80E+08	1,80E+08
UTS welded, Pa	3,00E+08	3,00E+08	3,00E+08	3,00E+08
Straight or Bent / Multipiece Upper Member?	N/A	Straight	N/A	N/A
Number of tubes	3	1	2	1
Tube OD, mm	25,4	25,4	25,4	25,4
Wall, mm	1,6	1,8	1,8	1,8
		Baseline design? YES		

Gambar 59. *Sheet T3.24 T3.33 Side Impact Struct.*

k) T5.4 *Shoulder Harness Bar*

Pada *sheet* ini, perlu dimasukan data mengenai jenis material dipilih *steel*, kemudian *Tube shape* dipilih *Round*, kolom *Number of tubes* diisi 1, pada kolom *Tube OD*, mm diisi dengan 25,4 kemudian pada kolom *Wall*, mm diisi dengan 2,6mm.

Shoulder Harness Bar Equivalency				
		Enter construction type Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	N/A	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30 Laminate	
Youngs Modulus, E	2,00E+11	2,00E+11	0,00E+00	
Yield strength, Pa	3,05E+08	3,05E+08	0,00E+00	
UTS, Pa	3,65E+08	3,65E+08	0,00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3,00E+08	3,00E+08	N/A	
Number of tubes	1	1		
Tube OD, mm	25,4	25,4		
Wall, mm	2,4	2,6		

Gambar 60. Sheet T5.4 Shoulder Harness Bar

1) T3.20 IA AI Plate

Pada *sheet* ini, perlu dimasukan data mengenai jenis material dipilih *Aluminium 1*, kemudian *Thickness of core, mm* diisi 6, kolom *Thickness of inner skin, mm* diisi 2, pada kolom *Thickness of outer skin, mm* diisi dengan 2, kemudian pada kolom *Impact Attenuator Height, mm* diisi 220, yang terakhir pada kolom *Impact Attenuator Widht, mm* diisi 250. Pada *sheet* ini juga dilampirkan gambar kerja dari *Impact Attenuator*.

Impact Attenuator Anti-Intrusion Plate		
Material Property	Baseline	Your Plate
Material type	Steel	Aluminium 1
Material name /grade	Steel	Aluminium 1
Youngs Modulus, E	2,00E+11	7,00E+10
Yield strength, Pa	3,05E+08	1,00E+00
UTS, Pa	3,65E+08	1,00E+00
Yield strength, welded, Pa	1,80E+08	1,00E+00
UTS welded, Pa	3,00E+08	1,00E+00
UTS shear, Pa	2,19E+08	1,00E+00
Thickness of panel, mm	1,5	4
Thickness of core, mm	1,5	6
Thickness of inner skin, mm	1,5	2
Thickness of outer skin, mm	1,5	2
Panel height, mm (from Front Bulkhead tab)	350	350
Panel width, mm (from Front Bulkhead tab)	300	300
Baseline Design?		YES
Composite AIP		
Impact Attenuator Height, mm	N/A	220
Impact Attenuator Width, mm	N/A	250

Gambar 61. *Sheet T3.20 IA AI Plate*

Setelah Dokumen *Structure Equivalency Spreadsheet* selesai disusun, maka selanjutnya diupload melalui *team page* agar bias dikoreksi oleh juri.

【EV】 Failure Modes and Effects Analysis (Excel/max:10MB) May.12 14:00	Not yet submitted			
Structure Equivalency Spreadsheet (Excel/max:15MB) May.22 14:00	Submitted	2017/05/02 2:23		0
Impact Attenuator Data (pdf/max:15MB) May.22 14:00	Submitted	2017/05/14 10:57		0
Team Data for Program 1 (Excel/max:3MB) May.31	Submitted	2017/05/30 3:51		0
Team Data for Program 2 (Excel/max:3MB) May.31	Submitted	2017/05/30 3:52		0
Vehicle Picture for Program (jpg,gif,zip/max:10MB) May.31	Submitted	2017/05/30 3:52		0
Design Spec Sheet (Excel/max:3MB) Jun.7 14:00	Submitted	2017/06/07 7:16		0
Design Report (pdf/max:10MB) Jun.7 14:00	Submitted	2017/06/07 13:48		0

Gambar 62. *Bukti Submitt SES*

C. Revisi Produk

Pada penelitian dan pengembangan yang dilakukan, tidak dilakukan revisi produk karena beberapa alasan, yaitu:

1. Rancangan produk yang dilaporkan melalui *Structural Equivalency Spreadsheet* sudah disetujui panitia.
2. Hasil simulasi *Finite Element Analysis* sudah mencapai target yang ditetapkan.
3. Produk dapat lolos dalam evaluasi *Technical Inspection* oleh panitia tanpa ada perbaikan.


D. Kajian Produk Akhir

Dari hasil penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa hasil yang didapatkan, diantaranya yaitu :

1. Hasil *Structural Equivalency Spreadsheet*

Setelah *SES* di *submit*, maka selanjutnya adalah menunggu hasil koreksi dari juri untuk menentukan langkah selanjutnya. Apabila OK maka bisa dilanjutkan dengan proses manufaktur rangka sesuai desain yang disetujui panitia, apabila hasilnya Not OK maka perlu dilakukan perbaikan terhadap desain rangka untuk selanjutnya dilaporkan lagi melalui *re-submit SES* sampai rancangan disetujui. Hasil koreksi dari panitia menyatakan bahwa rancangan desain rangka Formula Garuda 17 sudah OK meskipun ada kesalahan perhitungan mengenai jumlah pipa pada *Main hoop brace support* yang seharusnya dihitung 2 pipa, akan tetapi juri dapat menerima itu dan

SES yang sudah disubmitt tetap dinyatakan lolos. SES yang dikirimkan mendapat persetujuan dari panitia karena dari total 12 *entry sheet* yang dikirimkan ke panitia, semua rancangan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

SES Check Sheet 2017 (SFJ only)		Inspection Date	2017.6.6
Car Number	27		
Univ. Name	Universitas Negeri Yogyakarta		
Conclusion	OK		
Contact			
Takanari Matsuura (Chief Inspe	Email Address	takanari.matsuura@horiba.com	
Miyake Hiroshi	Email Address	hiroshi.miyake@volvo.com	
Comments			
<p>Primary judgment result</p> <p>You are mistaken in the number of Main Hoop Brace Support.</p> <p>The weakest place is a portion of a red dashed line.</p> <p>For the reason, it is two.</p> <p>However, there is no problem in intensity and I judge it as O.K.</p> <p>No problem!</p>			
Overall from the Chief			
It is O.K. No problem.			

Gambar 63. Bukti SES OK

2. Hasil Torsional Rigidity

Kendaraan yang melaju dengan kecepatan tinggi dan dalam kondisi berbelok akan menghasilkan efek rolling pada rangka kendaraan yang mempengaruhi efek kestabilan berkendara, maka dari itu efek rolling yang terjadi pada kendaraan diusahakan sekecil mungkin agar kendaraan tetap stabil meskipun berbelok dengan kecepatan tinggi. Dari hasil analisis studi kasus pertama mengenai *torsional rigidity*, didapatkan hasil *displacement maximum / angular deformation* sebesar 0,844426mm. Untuk mengetahui sudut yang dibentuk, maka jarak *angular deformation* ini harus dibagi dengan jarak tengah yaitu 500mm.

$$\psi = \frac{0,844426mm}{500mm}$$

$$\psi = 0,0017rad$$

Didapatkan hasil *angular displacement* sebesar 0,0017rad atau 0,0974°. Selanjutnya untuk menghitung nilai *torsional rigidity*, ialah memasukan data ke dalam rumus

$$Torsional\ Rigidity = \frac{Torque\ Load}{Angular\ Deflection}$$

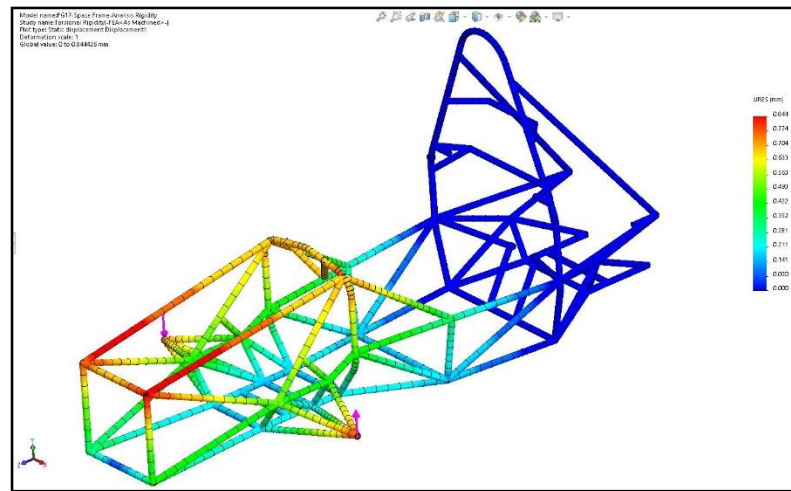
$$Torsional\ Rigidity = \frac{100Nm}{0,0974degree}$$

$$Torsional\ Rigidity = 1.026,7Nm/degree$$

Torsional Rigidity ialah seberapa besar rangka akan melentur ketika saat terbebani dan salah satu roda depan naik dan roda depan lainnya turun

sementara bagian belakang rangka ditahan, kondisi ini terjadi terutama saat kendaraan pada posisi *cornering*. Jika nilai torsional rigidity mencapai atau melebihi target yang ditetapkan, maka kendaraan akan tetap stabil meskipun pada posisi *cornering* dengan kecepatan tinggi, akan tetapi apabila nilai torsional rigidity tidak mencapai target yang diinginkan maka akan terjadi efek rolling pada kendaraan saat *cornering* sehingga menyebabkan kestabilan berkendara berkurang.

Target torsional rigidity sebesar 834Nm/degree , sedangkan hasil analisis mencapai 1.026,7Nm/degree. Dari hasil ini, maka dapat disimpulkan bahwa nilai *torsional rigidity* desain rangka Formula Garuda 17 sudah mencapai target yang telah ditetapkan sehingga pada saat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi dan berbelok, kestabilan kendaraan akan tetap terjaga karena efek rolling yang dihasilkan mampu ditahan oleh nilai torsional rigidity dari rangka. Kemudian untuk mengetahui apakah bobot rangka sudah mencapai target reduksi 2kg dari bobot rangka sebelumnya, maka dilakukan pengukuran melalui *software* dan hasilnya bobot desain rangka Formula Garuda 17 seberat 31,11kg yang artinya berhasil dilakukan reduksi bobot rangka sebesar 2,08kg dan telah memenuhi target.

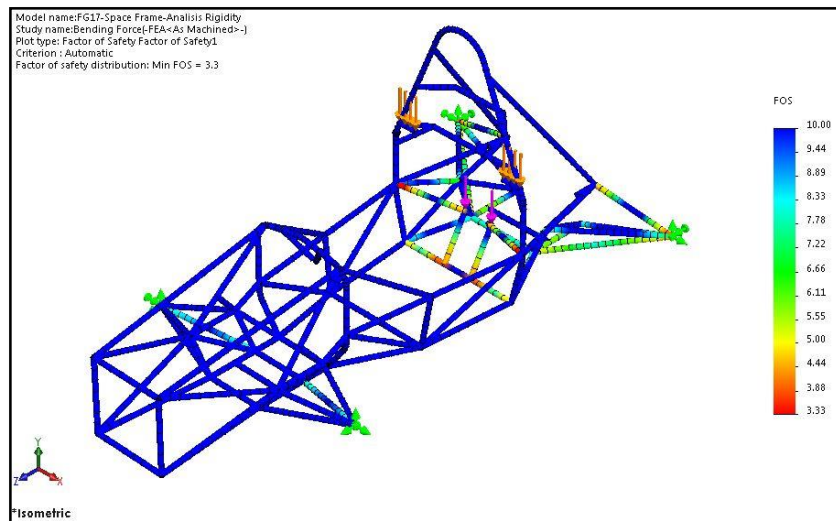


Gambar 64. *Displacement Torsional Rigidity*

3. Hasil Bending Force

Semua komponen yang bebannya ditahan oleh rangka akan menghasilkan beban bending baik pada saat kondisi statis maupun dinamis. Beban ini akan mempengaruhi kekuatan dari rangka kendaraan, oleh sebab itu rangka kendaraan harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban bending ini agar rangka tetap aman digunakan untuk perlombaan. Dari hasil analisis studi kasus kedua mengenai *bending force*, didapatkan hasil *maximum displacement* pada bagian *driver seat* yaitu sebesar 0,877mm dengan nilai *stress maximum* sebesar 50,068Mpa akan tetapi beban ini masih dikategorikan aman karena nilai minimum *factor of safety* nya masih 9,19. Sedangkan beban pada bagian *engine* mengakibatkan *displacement maximum* sebesar 2,23mm dengan nilai *stress maximum* sebesar 137,527Mpa dan nilai minimum *factor of safety* sebesar 3,34

sehingga masih dikategorikan aman. Dengan mempertimbangkan hasil analisis pada studi kasus kedua, dapat disimpulkan bahwa desain rangka Formula Garuda 17 mampu menahan gaya *bending* yang diakibatkan oleh komponen lain sehingga rangka aman digunakan untuk perlombaan.



Gambar 65. *Factor of Safety Bending Force*

4. Hasil *Technical Inspection*

Setelah *SES* disetujui, maka rancangan rangka Formula Garuda 17 dimanufaktur sesuai dengan yang disetujui panitia. Setelah semua proses manufaktur selesai, maka selanjutnya pada saat proses perlombaan *Student Formula Japan 2017*, Tim Garuda UNY mengikuti serangkaian *Technical Inspection* yang dilakukan pada hari Selasa, 5 September 2017 bertempat di ECOPA Stadium, Shizuoka, Jepang. Pada *Technical Inspection* yang dilakukan, terdapat sekitar 102 item yang diperiksa, dan hasilnya sebagian besar item yang dicek sesuai dengan regulasi, termasuk rangka kendaraan

yang tidak mengalami masalah, akan tetapi ada 2 kesalahan *minor* yaitu pada pola *safety wire* di mur *wheelhub* dan jarak selang rem dengan *double A-arm* yang terlalu dekat, akan tetapi hal ini dapat diatasi oleh tim seketika sehingga Tim dapat langsung lolos *Technical Inspection* pada hari pertama dan mendapatkan *pass sticker* dari juri sebagai bukti.



Gambar 66. Pass sticker sebagai bukti lolos Technical Inspection

Pass sticker terdapat 4 bagian, diantaranya:

a. *Technical Inspection*

Untuk memastikan semua komponen dalam kendaraan sesuai dengan regulasi *Student Formula Japan 2017*, kendaraan Formula Garuda 17 berhasil melewati 108 item regulasi yang diperiksa oleh panitia sehingga mendapat *Inspection sticker*.

b. *Tilt and Weight Test*

Untuk memastikan tidak ada kebocoran cairan pada kendaraan dengan cara mobil dimiringkan 45° serta memastikan semua roda tetap menapak

saat mobil dimiringkan 60° serta untuk mengukur berat kendaraan. Pada tahap ini, kendaraan Formula Garuda 17 tidak ada kebocoran saat dimiringkan 45° serta seluruh roda tetap menapak saat mobil dimiringkan 60° dan pada pengukuran berat kendaraan, hasilnya mobil Formula Garuda 17 memiliki bobot 214Kg sehingga pada tahap ini mobil dinyatakan lolos dan mendapat *Tilt & Weight sticker*.

c. *Noise Test*

Untuk memastikan suara dari *exhaust* kendaraan tidak melebihi aturan panitia yaitu 101db pada putaran mesin idle dan 110db pada 6000Rpm, pada tahap ini suara yang dihasilkan oleh mobil Formula Garuda 17 pada saat idle tidak melebihi 101db dan pada saat 6000rpm tidak melebihi 110db sehingga dinyatakan lolos dan mendapatkan *Noise sticker* dari panitia.

d. *Brake Test*

Untuk memastikan semua roda kendaraan dapat mengunci dan berhenti bersamaan, hasilnya pada percobaan pertama mobil Formula Garuda 17 dapat mengunci semua roda secara bersamaan sehingga dinyatakan lolos oleh panitia dan mendapat *Brake sticker*. *Brake test* adalah test terakhir sebelum mobil dinyatakan layak mengikuti serangkaian *dynamic event*.

E. Keterbatasan Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan ini memiliki keterbatasan-keterbatasan yang belum mampu dilakukan oleh peneliti, diantaranya :

1. Karena keterbatasan alat berupa *jig and fixture* untuk *rigidity test*, belum dilakukan uji *torsional rigidity* secara langsung pada rangka mobil Formula Garuda 17 yang sudah selesai dimanufaktur.
2. Keterbatasan sensor berupa *suspension travel sensor* untuk mengetahui seberapa besar gaya yang bekerja pada kendaraan, serta *accelerometer sensor* untuk mengukur nilai percepatan kendaraan dan mengambil data sehingga perhitungan yang dilakukan belum sepenuhnya akurat.